



**VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ**

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

**FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ**

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

**ENERGETICKÝ ÚSTAV**

ENERGY INSTITUTE

**VYTÁPĚNÍ RODINNÉHO DOMU TEPELNÝM ČERPADLEM**

HEATING THE HOUSE BY HEAT PUMP

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

BACHELOR'S THESIS

**AUTOR PRÁCE**

AUTHOR

Jan Pinkas

**VEDOUCÍ PRÁCE**

SUPERVISOR

doc. Ing. Jiří Pospíšil, Ph.D.

**BRNO 2019**

# Zadání bakalářské práce

Ústav: Energetický ústav  
Student: **Jan Pinkas**  
Studijní program: Strojírenství  
Studijní obor: Základy strojního inženýrství  
Vedoucí práce: **doc. Ing. Jiří Pospíšil, Ph.D.**  
Akademický rok: 2018/19

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

## Vytápění rodinného domu tepelným čerpadlem

### Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Práce je zaměřena na reálné hodnocení provozních parametrů a ekonomické návratnosti instalace tepelného čerpadla pro vytápění rodinného domu.

V rámci práce bude představen princip tepelných čerpadel a uveden přehled používaných typů TČ. Pojednáno bude i o dostupných zdrojích tepelné energie pro TČ.

### Cíle bakalářské práce:

1. Stručně představit princip TČ.
2. Uvést přehled používaných typů TČ.
3. Navrhnout instalaci TČ pro zvolený objekt.
4. Provést technicko–ekonomické zhodnocení navržené instalace TČ.

### Seznam doporučené literatury:

PAVELEK, M., Termomechanika. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2011. ISBN 9788021443006.

KANDLIKAR, S., Masahiro, S. a DHIR, V., Handbook of phase change: boiling and condensation. Philadelphia, PA: Taylor, xlvii, 738 p., 1999. ISBN 15-603-2634-4.

KUPPAN, T., Heat exchanger design handbook. USA, New York: Taylor and Francis, 2000. ISBN 0-8247-9787-6.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2018/19

V Brně, dne

L. S.

---

doc. Ing. Jiří Pospíšil, Ph.D.  
ředitel ústavu

---

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.  
děkan fakulty

## **Abstrakt**

Předmětem této bakalářské práce je vytápění rodinného domu tepelným čerpadlem. V první části je vysvětlen princip jeho fungování. Představeny jsou i základní zdroje tepla pro tepelná čerpadla včetně jejich výhod a nevýhod. Praktická část se věnuje výpočtu tepelných ztrát objektu a výpočtu potřeby energie pro vytápění i ohřev teplé užitkové vody. Na základě těchto hodnot byla navržena konkrétní instalace tepelného čerpadla. Nakonec byla dotyčná instalace technicko-ekonomicky zhodnocena.

## **Klíčová slova**

tepelné čerpadlo, topný faktor, tepelné ztráty objektu, teplá užitková voda, vytápění

## **Summary**

The point of this bachelor thesis is a family house heating with a use of a heat pump. In the first part of the thesis the principle and working of a heat pump are explained. Also the basic sources of energy for the heat pump including their pros and negatives are talked over. Secondly in the practical part thermal losses and energy consumption of the chosen house are calculated. Based on those calculations the heat pump and the heating system are chosen. In the end the investment is evaluated.

## **Key-words**

heat pump, COP, Coefficient of performance, thermal losses, hot water heating, heating

### **Bibliografická citace**

PINKAS, Jan. *Vytápění rodinného domu tepelným čerpadlem*. Brno, 2019. Dostupné také z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/117314>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Energetický ústav. Vedoucí práce Jiří Pospíšil.

### **Prohlášení**

Čestně prohlašuji, že jsem bakalářskou práci *Vytápění rodinného domu tepelným čerpadlem* vypracoval samostatně pod vedením svého vedoucího doc. Ing. Jiřího Pospíšila Ph.D. s použitím podkladů uvedených v seznamu použitých zdrojů.

Jan Pinkas



### **Poděkování**

Děkuji tímto doc. Ing. Jiřímu Pospíšilovi, Ph.D. za cenné rady a připomínky, jež mi poskytl v průběhu mé práce. Dále bych chtěl poděkovat svým rodičům, neboť bez jejich těžké práce bych tuto závěrečnou práci s nejvyšší pravděpodobností ani nepsal.





# Obsah

Úvod .....	6
<b>1 Tepelné čerpadlo.....</b>	<b>7</b>
1.1 Historie.....	7
1.1.1 Počátky .....	7
1.1.2 Vývoj instalací v ČR .....	7
1.2 Princip.....	8
1.2.1 Pracovní cyklus .....	9
1.3 Chladivo.....	10
1.4 Kompresory .....	10
1.4.1 Pístový kompresor .....	11
1.4.2 Šroubový kompresor .....	11
1.4.3 Scroll kompresor .....	11
1.5 Topný faktor .....	12
1.6 SCOP .....	12
1.7 Bivalence .....	12
<b>2 Typy TČ podle zdroje tepla .....</b>	<b>14</b>
2.1 TČ typu vzduch-voda.....	14
2.2 TČ typu země-voda.....	15
2.2.1 Plošný kolektor .....	15
2.2.2 Hlubinný vrt.....	17
2.3 TČ typu voda-voda .....	18
2.3.1 Povrchová voda .....	18
2.3.2 Spodní voda .....	18
<b>3 Tepelné ztráty objektu .....</b>	<b>20</b>
3.1 Popis objektu.....	20
3.2 Výpočet tepelných ztrát .....	20
3.2.1 Celková tepelná ztráta .....	20
3.2.2 Tepelná ztráta prostupem.....	20
3.2.3 Vzorový výpočet tepelné ztráty prostupem .....	21
3.2.4 Tepelná ztráta výměnou vzduchu .....	24
3.2.5 Vzorový výpočet tepelných ztrát výměnou vzduchu .....	26
3.2.6 Celková tepelná ztráta objektu .....	27
<b>4 Množství tepla .....</b>	<b>28</b>
4.1 TUV .....	28
4.2 Teplo na vyrovnání tepelných ztrát .....	28
4.2.1 Vzorový výpočet energie na vyrovnání tepelných ztrát .....	29

4.2.2	Celková energie potřebná na vytápění.....	29
4.3	Celková roční spotřeba tepla.....	29
5	Výběr konkrétního TČ.....	31
5.1	Stávající plynový kotel .....	31
<b>6</b>	<b>Ekonomické zhodnocení .....</b>	<b>32</b>
6.1	Náklady na pořízení TČ .....	32
6.2	Náklady na pořízení plynového kotle .....	32
6.3	Náklady při využití TČ .....	32
6.3.1	Cena elektřiny.....	32
6.3.2	Roční náklady při využití TČ .....	33
6.4	Náklady při využití plynového kotle.....	33
6.5	Roční úspora .....	33
6.6	Návratnost.....	34
<b>Závěr .....</b>		<b>35</b>
<b>Seznam použitých zdrojů .....</b>		<b>36</b>
<b>Seznam použitých symbolů a zkratek.....</b>		<b>38</b>
<b>Seznam obrázků.....</b>		<b>40</b>
<b>Seznam tabulek .....</b>		<b>41</b>



## **Úvod**

Ekologie, energetika, životní prostředí, změna klimatu, to jsou v dnešní době velice aktuální témata. Dnes, v době velmi vysokých standardů, už si i obyčejný člověk pomalu začíná uvědomovat, že současným tempem brzy nebude snadné pokrýt naši energetickou potřebu. Spalováním fosilních paliv za účelem výroby energie se do ovzduší uvolňuje velké množství skleníkových plynů a jiných škodlivin. K oteplování planety nepřispívají pouze skleníkové plyny ale i odpadní teplo, které se uvolňuje během procesu výroby energie. O možnosti vyčerpatelnosti neobnovitelných zdrojů nemluvě.

Je možné, že vědci naleznou vhodné řešení v podobě nového ekologického zdroje energie, kterým by v budoucnu mohla být například termojaderná fúze. Jedním, ne absolutním, ale vhodným způsobem přispění k ochraně planety by mohlo být i snížení spotřeby energie, či alespoň zpomalení jejího růstu. Platí rčení: „Mysli globálně, jednej lokálně.“ Jednou takovou lokální možností by mohlo být snížení energie potřebné pro vytápění lidských obydlí, či zvolení ekologičtějšího zdroje tepla.

Tepelné čerpadlo (dále jen TČ) se jeví jako jedna z možností, jak toho dosáhnout. Toto zařízení dokáže v případě správného dimenzování poskytnout obdobný, ne-li stejný tepelný komfort jako klasické zdroje vytápění. K tomu je ještě schopné majiteli ušetřit nemalé finance snížením potřebné energie. Ekonomická úspora je nejčastěji jediným důvodem instalací TČ v domácnostech. Ekologický přínos lze až na výjimky považovat za vedlejší efekt, leč pozitivní a neméně důležitý.

Vybrat vhodné TČ není nic jednoduchého, výběr neulehčuje ani fakt, že na trhu je nyní nepřeberné množství produktů. Dnes nabízí instalaci TČ mnoho firem a o to více je potřeba bedlivě vybírat. Třebaže v době tak vysoké konkurence si žádná firma nechce dovolit fiasko, je dobré vědět, co je a není reálné, co TČ může a nemůže. Tyto esenciální informace o TČ, o kterých by měl mít potenciální zájemce povědomí, jsou součástí této práce.

Cílem je tedy představení principu fungování TČ a seznámení se se základními zdroji energie. Dále pak budou spočteny tepelné ztráty zvoleného objektu, jež poslouží pro návrh konkrétní instalace, která bude posléze technologicko-ekonomicky zhodnocena.

## 1 Tepelné čerpadlo

Tepelné čerpadlo (dále jen TČ) je zařízení, které je schopné přečerpávat teplo z prostředí o nižší teplotě do prostředí o vyšší teplotě, což je v přírodě nepřírozené a mohlo by se proto zdát, že TČ porušuje fyzikální zákony. Brzy bude vysvětleno, že nedochází k porušování žádných fyzikálních zákonů. Díky této schopnosti TČ je umožněno využívání nízkoteplotní energie prostředí k vytápění a ohřívání teplé užitkové vody (dále jen TUV).

### 1.1 Historie

#### 1.1.1 Počátky

Myšlenku TČ formuloval prvně v r. 1852 lord Kelvin (William Thomson) tak, že „obráceně fungujícího tepelného motoru je možno využít nejen k chlazení, ale i k ohřívání[1].“

První TČ v podstatě náhodou sestrojil Americký vynálezce Robert C. Weber. Když prováděl pokus s nízkými teplotami, údajně se omylem dotknul výstupního potrubí mrazicího stroje, které jej popálilo. To ho pravděpodobně přivedlo k myšlence toho využít. Dále se údajně dotýčný Robert C. Weber pokoušel propojovat pokusný mrazák s bojlerem a místo mrazení začal experimentovat s ohříváním vlastního domu. Následně zkusil čerpat teplo ze země pomocí zemních kolektorů.[2]

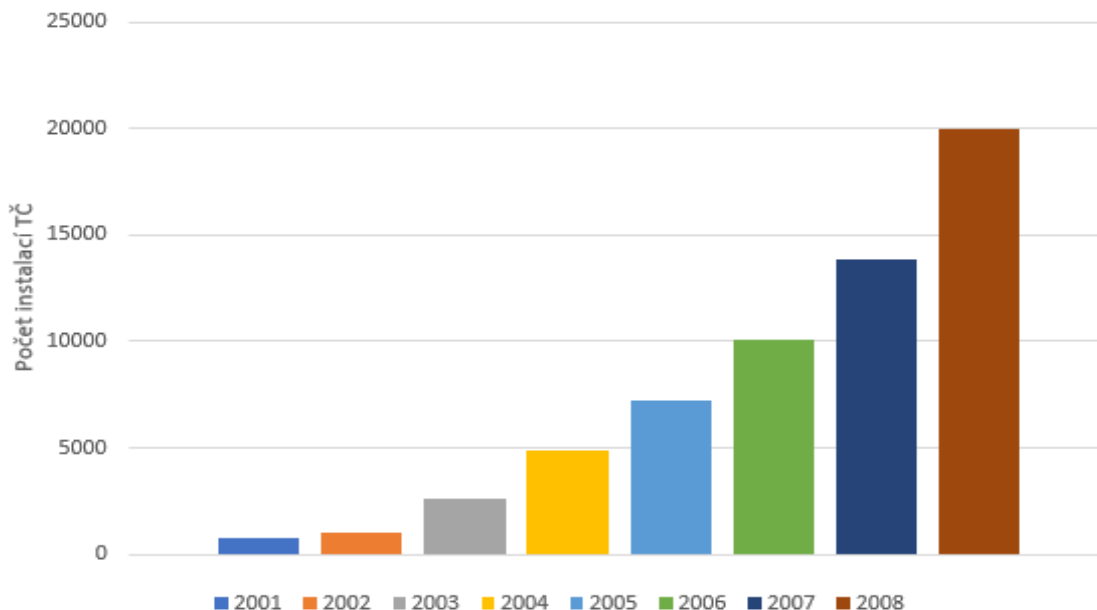
První průmyslová aplikace se však objevila až po 75 letech od chvíle, kdy lord Kelvin formuloval myšlenku TČ. V r. 1927 T. Haldane využil TČ o výkonu 1,4 MW k vytápění úřední budovy v Los Angeles. Tato dlouhá doba od vyslovení myšlenky až po samotné průmyslové využití nebyla dána obtížností technického zařízení, nýbrž však ekonomickou a provozní nevýhodností TČ ve srovnání s ostatními topnými systémy v tehdejší době dostatku levných paliv.[3]

Druhá, nyní již celosvětová, vlna rozmachu TČ přichází v období tzv. světové energetické krize, kdy jsou podmínky jejich použití podstatně příznivější než dříve, neboť vyčerpání zásob paliv se stalo dohledným[3]. Podstatnou roli také hrálo zdražení paliv z ekologických důvodů.

#### 1.1.2 Vývoj instalací v ČR

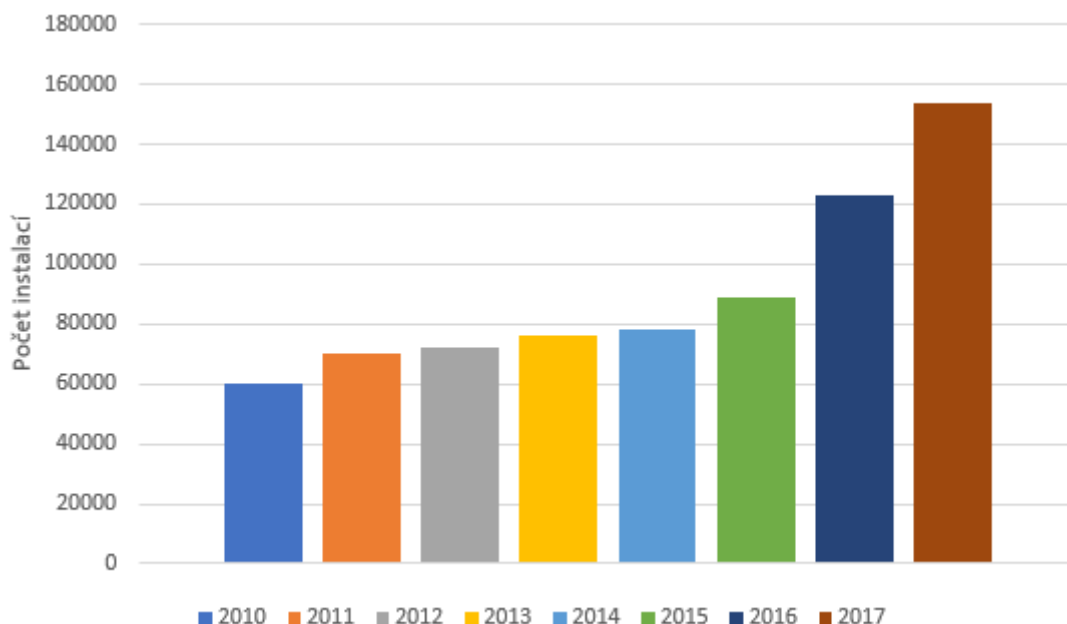
Před rokem 1990 bylo u nás nainstalováno jen několik kusů tepelných čerpadel, a to zejména z propagačních či demonstrativních důvodů. Teprve po roce 1990 se začala objevovat skutečná tepelná čerpadla, převážně importovaná ze zemí, kde už s nimi měli své zkušenosti: ze Švédska, Německa a Rakouska. Následně se svou produkcí připojili i tuzemští výrobci, kteří získávali první zkušenosti. Prakticky se jednalo jen o desítky instalací ročně, později to již byly stovky. Skutečný rozvoj instalací však nastal až po roce 2000.[4]

Instalace TČ je zpravidla prováděna za účelem úspor. Jak tomu již bývá, peníze jsou až na prvním místě a u TČ tomu není jinak. Velice důležitou roli při rozhodování, zda instalovat TČ, či nikoli, hraje tzv. návratnost. Ta je silně závislá na pořizovací ceně TČ, včetně instalace, a na ceně energií. Neméně důležitou roli hraje i životnost TČ či jeho komponent, nikdo přeci nechce, aby mu jeho vysněné vytápění přestalo fungovat dříve, než se stihne „zaplatit“.



Obr. 1.1 Vývoj instalací TČ v ČR po roce 2000 (upraveno)[4]

Díky rostoucím cenám energií a zlepšujícím se technologickým vymoženostem se zkracují doby návratnosti TČ, prodlužují životnosti a tento způsob vytápění se stává stále výhodnějším. S nejvyšší pravděpodobností půjdou i nadále ceny energií nahoru, lze tedy předpokládat, že porostou i počty instalací TČ.



Obr. 1.2 Vývoj instalací po roce 2010 (upraveno)[5]

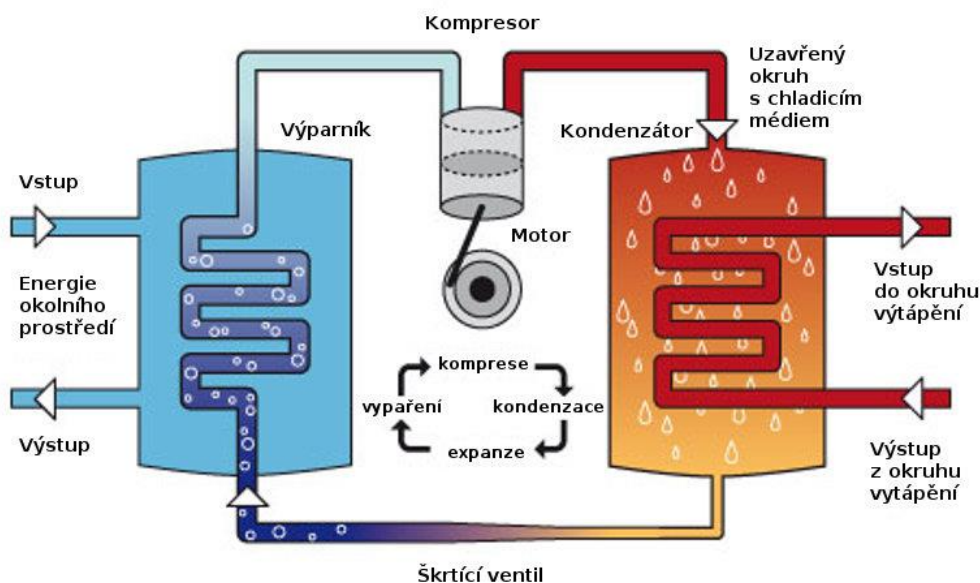
## 1.2 Princip

Z fyzikálního hlediska se jedná o zařízení, které je schopné přečerpávat teplo (energii) z jedné hladiny na druhou. V našem případě se jedná o přečerpávání tepla

z nízkoteplotního (nízkopotencialního) zdroje na vyšší teplotu, při které se již toto teplo dá použít pro vytápění či ohřev TUV. V žádném případě se tedy nejedná o zařízení vyrábějící energii, což mimochodem vyvrací již první věta termodynamiky, jež nám říká, že energii nelze vyrobit, a ani zničit, lze jen změnit její formu. Tepelné čerpadlo energii pouze přečerpává na vyšší teplotní úroveň. Za žádných okolností nedochází k porušování fyzikálních zákonů.

Někdy může dojít k záměně pojmů teplo a teplota. Teplo je množství energie a teplota je pouze její aktuální stav. Téměř každému je jasné, že při ochlazení vody v radiátoru ze 75 °C na 70 °C se určité množství tepla předá do vzduchu. Bývá už však méně zřejmé, že při ochlazení stejného množství vody z 10 °C na 5 °C dostaneme stejné množství tepla. Ještě obtížnější je potom představa při teplotách pod bodem mrazu. Fyzikální zákony platí při všech teplotách, jenom člověk má při různých teplotách jiné subjektivní pocity. (Upraveno)[6]

TČ se skládá ze tří okruhů. Primární okruh má za úkol dopravit teplo z nízkoteplotního zdroje do výměníku (výparníku), kde předá teplo pracovnímu okruhu. V primárním okruhu většinou koluje nemrzoucí směs. U některých typů TČ se primární okruh nevyskytuje. Po provedení všech fází pracovního okruhu dojde v dalším výměníku (kondenzátoru) k předání tepla sekundárnímu okruhu. Sekundární okruh se nazývá také topný okruh, teplonosným médiem zde obvykle bývá voda.



Obr. 1.3 Schéma TČ [7]

### 1.2.1 Pracovní cyklus

Pracovní cyklus TČ se děje v pracovním okruhu. Skládá se ze čtyř jednotlivých fází. Pracovní látkou je zde tzv. chladivo, jemuž také bude věnována pozornost.

1. **Vypařování:** Do výměníku tzv. výparníku je pod velkým tlakem z termostatického expanzního ventilu<sup>1</sup> (dále jen TEV) vstříknuto kapalné chladivo. Tlak ve výparníku je nižší a chladivo se proto rychle odpařuje. Tím se celý výparník podchlazuje. Do

<sup>1</sup> Na obr. 1.3 je TEV uveden jako škrťací ventil, jedná se pouze o jiné pojmenování.



takto podchlazeného výparníku je na druhé straně primárním okruhem přivedeno teplo nízkopotenciálního zdroje. Teplota vypařeného chladiva je zde nižší než teplota zdroje, a proto může dojít k ohřátí chladiva.

2. **Komprese:** Tento ohřátý ale stále ještě studený plyn je nasáván kompresorem, srdcem TČ, a následně stlačován. Po stlačení kompresorem se plyn silně zahřeje. Nezanedbatelnou energii chladivu přidá také sám kompresor vlivem tření, malé množství přidá i elektromotor svým ztrátovým teplem.
3. **Kondenzace:** Za kompresorem dosáhne chladivo vyšší teploty než voda v topném systému. Tento horký plyn je veden do dalšího výměníku, tzv. kondenzátoru, kterým proudí topná voda. Tam horké plynné chladivo zkapalní a předá teplo chladnější topné vodě.
4. **Expanze:** Stále kapalně chladivo, které však již předalo teplo otopné soustavě, je vedeno stále pod vysokým tlakem do TEV. Odtud je chladivo vstříkováno do výparníku a celý cyklus se opakuje.

### 1.3 Chladivo

Jedná se o pracovní látku kolující v pracovním okruhu TČ. Jsou to buď čisté látky nebo jejich směsi. Chladiva jsou označována písmenem R a příslušným číslem, např. R115. Každé chladivo má své specifické označení. Dříve se používaly hojně freony, jež mají ideální vlastnosti. Kvůli jejich negativním dopadům na životní prostředí, zejména pak ozonovou vrstvu, jsou ale některé z nich zakázané. Jako chladivo je možné využít třeba CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> a mnoho dalších. Typ chladiva je závislý na výrobci a aplikaci TČ.

### 1.4 Kompresory

Jedná se o srdce TČ a zároveň jeho nejdražší část. Kompresor často bývá komponentou, u které dojde k první poruše. Důvodem jsou pohybující se části. Má tedy veliký vliv na návratnost TČ. Postupným vývojem technologií se prodlužují životnosti stávajících kompresorů. V praxi se používá několik typů v závislosti na aplikaci a požadavcích. Jednotlivým kompresorům ještě bude věnována větší či menší pozornost. Kompresor může být různě poháněn např. dieselovým motorem, plynovým motorem, elektromotorem. V případě TČ se reálně nejvíce používá elektromotor napájený ze sítě.

V závislosti na tom, jestli se motor, kompresor a hnací hřídel nacházejí v jedné nádobě či ne, mluvíme o různých provedeních: hermetické, polohermetické a otevřené provedení.

**Hermetické** provedení kompresoru má ve společné neprodyšné nádobě a na společném hřídeli elektromotor i kompresor. Olejová náplň je také společná. Výhodou je naprostá těsnost, z nádoby vede jenom sací a výtlačné potrubí. Nemůže tedy docházet k úniku chladiva. Nevýhodou je, že v případě poruchy se musí vyměnit celá nádoba.

**Polohermetické** provedení se liší od hermetického pouze tím, že nádoba, v níž jsou kompresor a motor uloženy, se dá otevřít demontováním různých vík. Většinou se jedná o pístové kompresory. Využití většinou u větších chladících zařízení

**Otevřené** provedení představuje pouze samotný kompresor. Jeho hřídel je utěsněna ucpávkou proti úniku chladiva a vychází ven ze skříně. Pohonem může být nejen elektromotor ale také spalovací či jiný motor. Dobrým příkladem jsou například kompresory klimatizací automobilů.

#### 1.4.1 Pístový kompresor

Jsou levnější, mají mírně vyšší hlučnost a nižší topný faktor, který bude vysvětlen. Životnost je podle literatury z roku 2005 něco kolem 15 let, lze předpokládat, že dnes bude vyšší. Většina starších zařízení využívá právě pístový kompresor.

#### 1.4.2 Šroubový kompresor

Obsahuje dva šroubovitě rotory, jeden je tvarovaný jako „samička“ druhý jako „sameček“, oba se po sobě odvalují. Technicky a výrobně velice náročné zařízení, a proto se používá jen pro vysoké výkony.

#### 1.4.3 Scroll kompresor

Scroll kompresor se skládá ze dvou kovových spirál, které jsou vloženy do sebe. Jedna, horní, je statická s výfukovým otvorem uprostřed. Druhý, dolní spirálový díl, se neotáčí, ale krouží v horní části. Tím se mezi spirálami v místech odlišných zakřivení vytváří plynové kapsy, které se neustále posouvají do středu spirály a zmenšují svůj objem. Jejich cesta končí u středového otvoru horní spirály, kde dochází k výfuku plynu. Samotná myšlenka scroll kompresoru je poměrně stará. Vývoj byl dlouhou dobu brzděn technologií výroby, která je složitá a náročná na přesnost.

Vzhledem k nižšímu počtu třecích ploch mají delší životnost. Díky absenci škodlivého prostoru mají i vyšší účinnost. Jsou také tišší. To vše ovšem za vyšší cenu. Dnes se v aplikacích pro rodinné domy (dále jen RD) používá většinou tento typ kompresoru. Proto jako jedinému mu jsou věnovány obrázky.



Obr. 1.4 Cyklus scroll kompresoru[8]



Obr. 1.5 Spirály scroll kompresoru[9]

## 1.5 Topný faktor

U TČ se efektivita vyjadřuje topným faktorem COP<sup>2</sup>. Topný faktor je bezrozměrná veličina a jedním z nejdůležitějších parametrů tepelného čerpadla. Vyjadřuje podíl mezi energií dodanou TČ a energií spotřebovanou. V našem případě se jedná o poměr mezi teplem z TČ a spotřebovanou elektrickou energií potřebnou pro jeho fungování.

Platí vztah[6]:

$$COP = \frac{Q_{out}}{Q_{el}} = \frac{Q_{in} + Q_{el}}{Q_{el}} \quad [-] \quad (1.1)$$

$Q_{in}$  – energie získaná z okolí [J]

$Q_{el}$  – energie pro pohon kompresoru [J]

$Q_{out}$  – celková získaná energie [J]

$T_{in}$  – teplota zdroje tepla [K]

$T_{out}$  – teplota na výstupu [K]

V praxi to potom znamená, že je výhodnější (vyšší COP) používat zdroje s co nevyšší teplotou a teplo dodávat do topných systému s co nejnižší teplotou, jako je například stěnové a podlahové vytápění[6].

Topný faktor u velmi dobrých TČ může dosahovat hodnoty až 7. V praxi se tato hodnota běžně pohybuje v rozmezí od 2,5 do 5. Jedná se o veličinu, která není k danému TČ vždy přiřazena, mění se dle podmínek, v nichž tepelné čerpadlo pracuje. Pro porovnání dvou různých TČ dle topného faktoru je vždy potřeba znát, za jakých podmínek tato jednotlivá zařízení pracují. O TČ s topným faktorem 4 při teplotě zdroje 10 °C a teplotě vody na výstupu 45 °C, nelze říct, že toto zařízení je lepší než druhé TČ, jež má topný faktor 3,2 při teplotě zdroje 0 °C a teplotě výstupní vody 50 °C.[2, 6]

Někteří prodejci se chlubí vysokými faktory bez udání pracovních podmínek, což je silnou marketingovou zbrání, neboť někteří lidé si neuvědomují, že bez udání podmínek měření, je tento údaj téměř nicneříkající. Ti serióznější prodejci k topnému faktoru vždy uvádí podmínky, za kterých byl faktor měřen.

## 1.6 SCOP

Samotný topný faktor COP se dá považovat za charakteristický pro dané TČ, které je zatím „pouze na paletě“. V při reálném provozu se topný faktor často liší od toho teoretického. Jeho velikost je závislá na konkrétní instalaci konkrétního systému a neustále se mění v závislosti na pracovních podmínkách. Z tohoto důvodu byl zaveden průměrný sezónní topný faktor zvaný SCOP<sup>3</sup>. Ten popisuje již konkrétní systém s TČ v reálném provozu po dobu otopné sezóny.

## 1.7 Bivalence

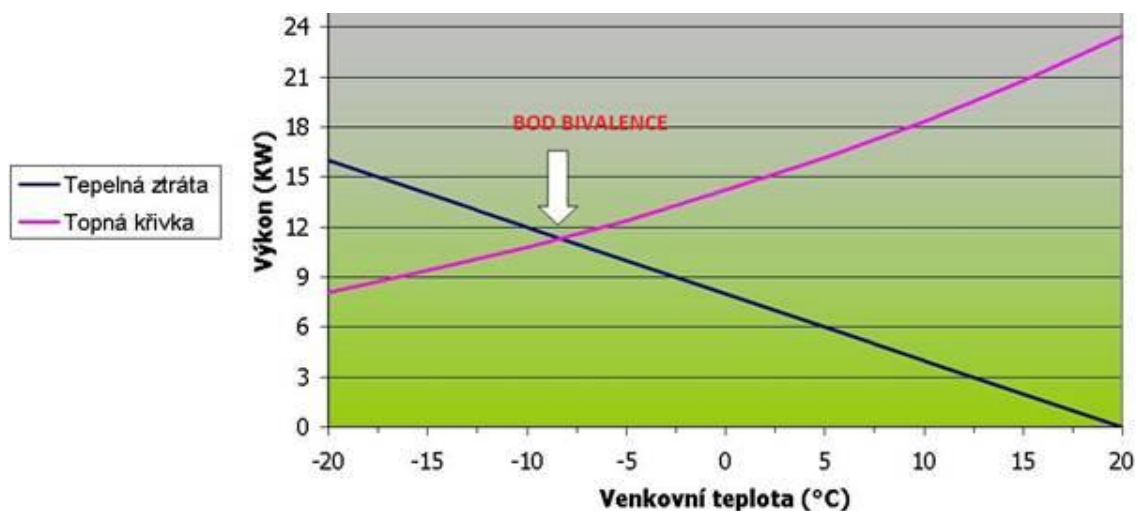
Jak bylo v předchozím bodu uvedeno, topný faktor klesá s teplotou zdroje. Při nižší venkovní teplotě rostou tepelné ztráty objektu, což si v případě, že chceme zachovat komfortní teplotu v objektu, žádá vyšší množství tepla dodávané TČ. Některé zdroje tepla, jak bude vysvětleno v následující kapitole, jsou více či méně závislé na venkovní

<sup>2</sup> Z anglického slova Coefficient of Performance.

<sup>3</sup> Z anglického slova Seasonal Coefficient of Performance.

teplotě. V případě, že venkovní teplota klesne natolik, že výkon TČ a tepelné ztráty objektu se vyrovnají, začíná být výkon TČ nedostačující pro pokrytí ztrát objektu.

Ve chvíli, kdy by měla nastat tato situace, je záhodno pomoci TČ jiným zdrojem tepla, jenž zajistí potřebný výkon. Teplotu, při které k tomu dojde, nazýváme bivalentním bodem, viz Obr. 1.6. Onen záložní zdroj tepla se nazývá bivalentní zdroj. Jako takový zdroj může být použit např. elektrokotel, plynový kotel, kotel na dřevo či krb. Bivalentní zdroj může při dané teplotě TČ zcela nahradit, či mu jen pomáhat a nahradit jej úplně až při nižší teplotě, to je závislé na dané instalaci TČ.



Obr. 1.6 Grafické znázornění bodu bivalence[10]

## 2 Typy TČ podle zdroje tepla

Zdroje tepla bývají nejčastěji vzduch, země, voda. Pro TČ používající vodu jako zdroj tepla může být využita spodní voda, povrchová či odpadní. Pro vzdušné čerpadlo se využívá vzduch venkovní či odpadní. V rámci této práce, což je aplikace v RD, nebude odpadní teplo považováno za zdroj. Tyto zdroje jsou spíše průmyslovou záležitostí.

U TČ bývá již v názvu uvedeno, jakého zdroje tepla se využívá. Např. čerpadlo typu země-voda znamená, že teplo je odebíráno zemi a předáváno vodě, která koluje v otopném systému. Dalo by se říci, že před pomlčkou se nachází zdroj tepla, jemuž primární okruh teplo odebírá, a za pomlčkou se nachází prostředí sekundárního okruhu, jež teplo přijímá. Tato práce bude zaměřena pouze na TČ, která mají sekundární okruh v prostředí vody, tzn. v názvu za pomlčkou bude voda.

### 2.1 TČ typu vzduch-voda

Jak lze celkem snadno zjistit již z názvu, zdrojem tepla pro TČ je v tomto případě vzduch. Čili primární okruh je ohříván vzduchem a sekundární okruh naopak předává získané teplo vodě, jež posléze koluje v otopném systému. Jedná se prakticky o neomezený zdroj tepla, to však za cenu toho, že jeho teplota kolísá a s tím i topný faktor. Jedná se o typický případ TČ, jež je záhodno kombinovat s bivalentním zdrojem.



Obr. 2.1 Objekt s TČ vzduch-voda v děleném provedení[11]

Vzduch, jenž má v porovnání s jinými zdroji nízkou tepelnou kapacitu, musí být proháněn výparníkem ve velkém množství. To je zařízeno ventilátory, které jsou nezanedbatelného elektrického příkonu a jejich hluk nelze taktéž zanedbat. Je vhodné situovat výměník s ventilátorem v místě, kde by hluk nikoho neobtěžoval. Není od věci jej situovat na teplejší straně objektu a zároveň je nutno dbát na to, aby ochlazený vzduch nebyl ventilován do míst, kde je nechtěný. Je také žádoucí jej umístit na dobře větrané místo, neboť onen již ochlazený vzduch je chladnější než okolní a klesá k zemi, kde může ochlazovat objekt a tím zvyšovat jeho ztrátu.

Provedení může být dělené, kdy výparník je venku a kompresor s kondenzátorem jsou uvnitř budovy. Nebo naopak kdy je kompletně celé TČ venku a do objektu vedou pouze

dvě trubky, kdy jedna vede teplou a druhá studenou vodu. V tomto případě je nutná dobrá tepelná izolace těchto trubek.

Typickým problémem vzduchových TČ je namrzání výparníku, které je způsobeno vzdušnou vlhkostí. Na silně podchlazeném výparníku kondenzuje vzdušná vlhkost, která následně zmrzne. Vrstva ledu zhoršuje prostup tepla a výparník přestává plnit svoji funkci. V praxi to pak znamená, že teploty kolem nuly, kdy je vysoká vlhkost, mohou být pro tepelné čerpadlo horší než holomrazy. Poslední dobou jsou u nás takové zimy stále častější. Problém namrzání výparníku se některým firmám již podařilo lépe či hůře vyřešit. Jeden takový způsob má patentovaný např. firma TČ Mach, která je českého původu. Kondenzované vody může být v závislosti na vlhkosti vzduchu poměrně velké množství, je proto potřeba zajistit jeho odvod.

#### **Positiva:**

- nižší pořizovací cena
- jednoduchá instalace
- možnost chlazení v létě

#### **Negativa:**

- kolísání COP
- hluk
- nutnost bivalentního provozu
- namrzání výparníku
- odvod kondenzátu

#### **Shrnutí:**

Zprvu by se mohlo zdát, že tento typ TČ má více nevýhod než výhod. Navzdory tomu je tento typ TČ v dnešní době nejčtenější a to z toho důvodu, že jeho nevýhody lze celkem snadno odstranit. Například dobrým situováním výměníku nebo zakoupením TČ, jež má dobře vyřešené namrzání výměníku. Při volbě vzduchového čerpadla je záhodno počítat s bivalentním provozem.

## **2.2 TČ typu země-voda**

Dalším velmi významným zdrojem energie pro TČ je zemský kůra. energii lze ze země získat dvěma způsoby, plošnými kolektory či hlubinnými vrtly. Půda je ochlazována výměníkem z polyethylenového potrubí, který je naplněn nemrznoucí směsí. Výhodou půdy je, že její teplota je podstatně rovnoměrnější než v případě vzduchu. Tepelná kapacita zeminy silně závisí na půdním složení a s tím spojeným obsahem vody.

### **2.2.1 Plošný kolektor**

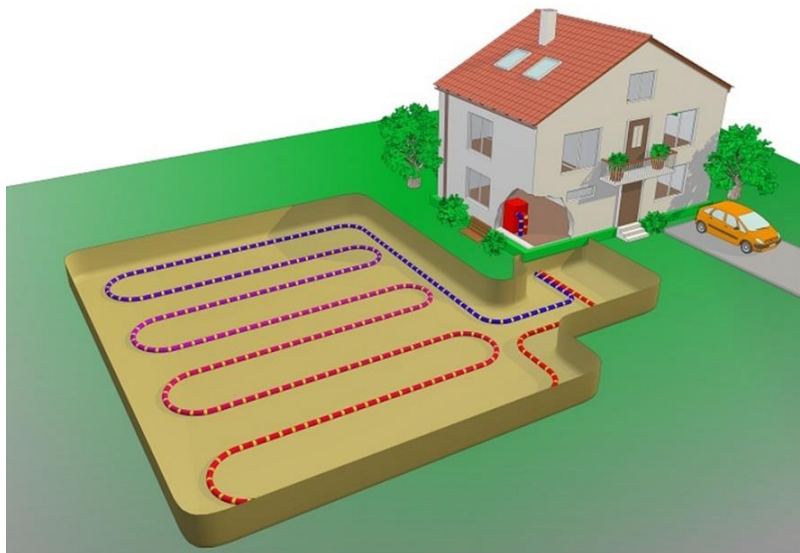
Pro odběr tepla slouží plošné kolektory, které jsou v podstatě horizontálně umístěné polyethylenové trubky plněné nemrznoucí směsí. Oběh směsi je zařízen oběhovým čerpadlem. Hloubka umístění 1-3 m[2]. Ona spodní hranice 1 m je dána tzv. nezamrznou hloubkou, tj. hloubka, ve které neklesne teplota půdy pod bod mrazu. Někdy se lze setkat s tím, že je uložena druhá vrstva kolektorů v hloubce např. 40 cm pod povrchem. To je z důvodu využití sluneční energie na začátku a konci topné sezóny, kdy už slunce během dne dokáže ohřát horní část zeminy. Minimální vzdálenost mezi jednotlivými trubkami je 0,6 m (doporučuje se 1 m). Tato vzdálenost má zamezit vzájemnému ovlivňování. Jednotlivé trubky by se neměly pod zemí spojit. Každá smyčka by měla jednotlivě vést do sběrné komory, aby bylo možné odpojit jednu konkrétní smyčku v případě její poruchy. Toto sběrné místo by mělo být tepelně izolováno kvůli snadné manipulaci. Kolektor by měl být umístěn v dostatečné vzdálenosti od základů stavby, aby je nepodchlazoval.



Udává se, že plocha potřebná pro vytápění RD by měla být dvojnásobek až trojnásobek plochy vytápěné. Minimální potřebná plocha je silně závislá na typu podloží. U suchých písčitých půd lze odebrat ochlazením o 1 K asi  $7,5 \text{ W/m}^2$ , u velmi vlhkých jílu až  $35 \text{ W/m}^2$  [12]. V případě dostatečně veliké plochy a vhodného podloží lze tento typ TČ provozovat monovalentně<sup>4</sup>.

Na ploše, kde jsou kolektory, nesmí být prováděny žádné stavby s potřebou základů. V jejich blízkosti by se neměly nacházet žádné vyšší rostliny, jež by svými kořeny mohly poškodit kolektory. Vlivem podchlazení zeminy není neobvyklé, že se v místě kolektorů déle drží sněhová vrstva. Půda je zde obecně chladnější. Není proto vhodné zde pěstovat ani nižší řady rostlin. Ze stejných důvodů je nevhodné zde umístit bazén.

Lze se setkat s tím, že některé firmy nabízejí možnost vytápění bazénu TČ mimo topnou sezónu. Zní to sice luxusně, ale je to zcela nevhodné, neboť v letních měsících, kdy by měla zemina regenerovat a nabírat teplo, je dále využívána. Tím se riskuje nedostatečná regenerace a následné znatelné snížení topného faktoru během topné sezóny.



Obr. 2.2 Objekt s TČ země-voda [13]

**Positiva:**

- vyšší a stálější topný faktor v porovnání s variantou vzduch-voda
- nižší pořizovací cena než u vrtu

**Negativa:**

- nutnost dostatečně velkého pozemku
- nutnost nahlášení provedení výkopu na příslušném úřadě
- omezené následovné využití pozemku
- vyšší pořizovací cena než u varianty vzduch-voda

**Shrnutí:**

V případě novostavby je možné spojit výkopové práce a tím ušetřit. Pokud je k dispozici dostatečně velký pozemek, jedná se o ideální variantu. Případný monovalentní provoz je záležitostí diskuze a preference.

<sup>4</sup> Monovalentně znamená bez použití bivalentního zdroje, zkrátka TČ pokrývá celou potřebu objektu.

### 2.2.2 Hlubinný vrt

Pro sběr tepla slouží kolektor z polyetylenových trubek, jež jsou vloženy do vertikálního vrtu o průměru nejčastěji 130-220 mm. Kolektorem proudí nemrznoucí směs, která je hnaná oběhovým čerpadlem. Po zavedení kolektoru do vrtu se musí prostor mezi kolektorem a stěnou vrtu utěsnit cementovou nebo jílocementovou směsí. Hloubka vrtu je obvykle od 50 do 150 m v závislosti na hornině a výkonu čerpadla.

S rostoucí hloubkou pod povrchem roste teplota, obvykle je to 1 °C na každých 30 m. V hloubce nad jeden metr se v našich podmínkách teplota již moc nemění a pohybuje se kolem 10 °C. Díky této velmi vysoké a stálé teplotě dosahují TČ s hlubinnými vrty velmi vysokého a po celý rok stálého topného faktoru. Běžně se dosahuje hodnot 4-5. V závislosti na tepelné vodivosti horniny se počítá 12-18 m hloubky vrtu na 1kW výkonu TČ. Čerpadlo s výkonem 10kW by tedy potřebovalo asi 150 m hluboký vrt (nebo dva 75 m vrty). Obecně je lepší volit jeden hlubší vrt než více kratších vrty. V případě více kratších vrtu je nutné mezi nimi dodržet vzdálenost nejméně 10 m, aby nedošlo k jejich vzájemnému ovlivnění.

Tento typ TČ je možno také provozovat monovalentně, lze jej použít například i pro vytápění bazénu. V obou případech je však nutné počítat s hlubším vrtem. Vzhledem k pořizovací ceně vrtu je nezbytné jeho správné dimenzování. Vrtu předchází geologický rozbor a povolení úřadů.



Obr. 2.3 Objekt s TČ země-voda s hlubinnými vrty[13]

#### Positiva:

- malé prostorové nároky
- stabilní a velmi vysoký topný faktor

#### Negativa:

- vysoká pořizovací cena
- povolení a s tím spojená byrokracie

#### Shrnutí:

Možnost monovalentního provozu, stálý a vysoký topný faktor dělají z této varianty téměř ideální a elegantní řešení. To však za vysokou pořizovací cenu.



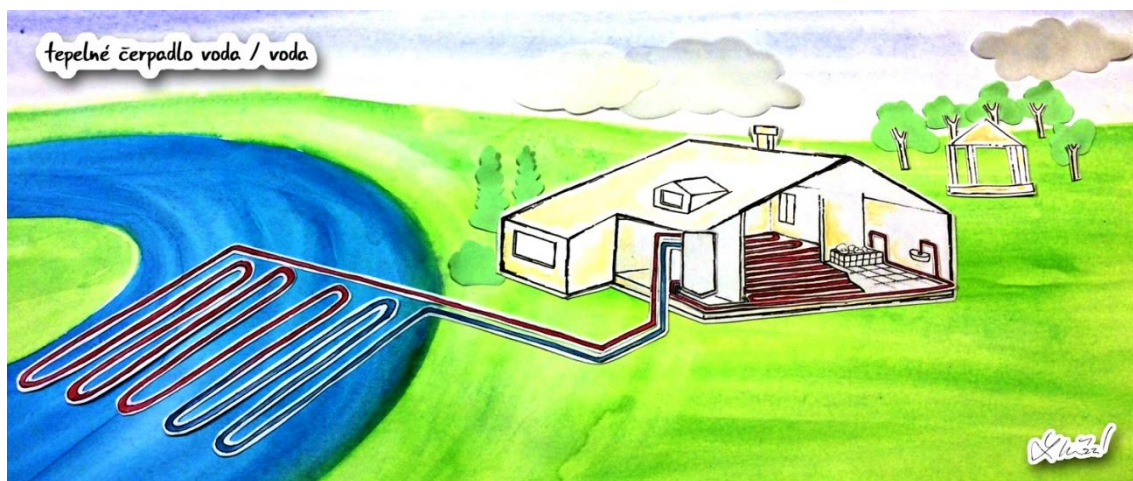
## 2.3 TČ typu voda-voda

Již z názvu je zřejmé, že nízkopotenciálním zdrojem je v tomto případě voda. Za tímto účelem lze využít povrchové či podzemní (spodní) vody. Z čehož vyplývají dvě základní varianty.

### 2.3.1 Povrchová voda

Zdrojem tepla je v tomto případě povrchová voda. Lze využít stojatých ploch či vodních toků. Tato varianta se obecně považuje za nevhodnou, neboť skýtá mnoho omezení, jež nejsou vykoupena nikterak vysokým topným faktorem. Teplota vody během roku kolísá a zamrzání v zimních obdobích není neobvyklé. Dalším problémem je znečištění vody, které může vést k zanesení, či dokonce poškození výměníku. Zádrhelem bývá také dostupnost a vydatnost vodního zdroje. Stejně tak je nutné provést rozbor vody a získat všechna potřebná povolení, jež sebou nesou nemalé množství byrokracie. Z ekologického hlediska to také není ideální volba, neboť při poškození výměníku hrozí únik chladiva do vody. Samotné lokální ochlazení není vhodné pro vodní flóru a faunu.

Jednou možností je uložení výměníku na dně vodní plochy. Druhou variantou je přivádění vody k TČ pomocí čerpadla. V obou případech hraje značnou roli vzdálenost vody od vytápěného objektu. Při výpočtu topného faktoru je nutné brát v potaz energii spotřebovanou pro běhové čerpadlo.



Obr. 2.4 TČ typu voda-voda s využitím povrchové vody[14]

#### Positiva:

- levnější než varianta země-voda s hlubinným vrtem

#### Negativa:

- dostupnost vodního zdroje
- zamrzání, zanášení
- byrokracie spojená se získáním povolení a provedením rozboru
- ovlivnění vodní flóry a fauny

#### Shrnutí

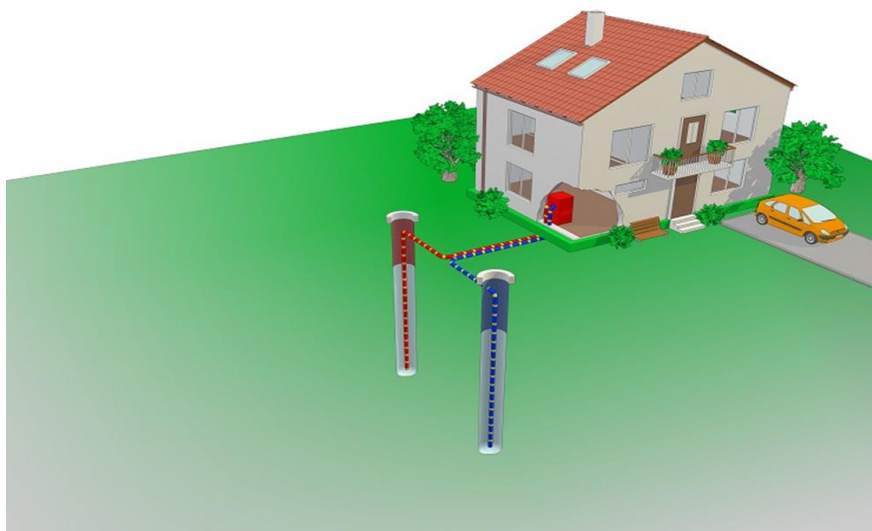
Tato varianta s sebou nese mnoho nevýhod a obecně není považována za vhodnou. Některé firmy se od této varianty distancují, neboť si jsou vědomy rizik a chtějí se jich vyvarovat. Instalace tohoto typu nejsou nikterak časté a obecně lze tento způsob považovat za vhodný akorát pro fajnšmekry a fanoušky TČ.

### 2.3.2 Spodní voda

Nízkopotenciálním zdrojem tepla je přímo spodní voda. Ta je odebírána ze zdrojové studny, přiváděna do výměníku a poté následně vracena do vsakovací studny. Výhodou

toho systému je nejvyšší průměrný topný faktor a možný monovalentní provoz. To je dáno poměrně vysokou teplotou spodní vody. Její teplota se pohybuje kolem 10 °C. V některých oblastech lze čerpat vodu o teplotě i 20 °C<sup>5</sup>. Na pozemku se musí nacházet zdrojová studna s celoročně dostatečnou vydatností vody. Zároveň je nutnost vsakovací studny pro vrácení vody do podloží. Podloží však musí být schopno vodu trvale přijímat. Je nezbytné provést chemický a hydrogeologický průzkum. Voda nesmí být silně mineralizovaná, neboť to by mohlo vést k zanešení výměníku a následným nepříjemným problémům. Hloubka studny by neměla být větší než 25 m pro RD, neboť s rostoucí hloubkou se zvyšuje energie potřebná na čerpání vody.

Tato varianta je poměrně náchylná k provozním poruchám, proto není vhodné ji používat pro rekreační a příležitostně navštěvované objekty. Před samotným provedením je nutné získat příslušná povolení. Někdy bývá problémem obava sousedů z toho, že by mohlo dojít k ovlivnění hladiny spodní vody.



Obr. 2.5 TČ typu voda-voda s využitím spodní vody (zdrojová a vsakovací studna)[13]

**Positiva:**

- vysoký a celoročně stálý topný faktor
- možnost využití stávající studny
- levnější v porovnání s variantou země-voda s hlubinným vrtem

**Negativa:**

- nutnost vhodné lokality
- požadavky na chemické složení
- byrokracie spojená se získáním povolení a provedením rozboru
- nutný souhlas sousedů

**Shrnutí:**

V případě splnění předpokladů se jedná o velmi dobrý zdroj tepla s velmi vysokým a stálým topným faktorem. Do chvíle, než dojde k provozní poruše, je monovalentní provoz dobrou volbou. Vzhledem k problémům s nedostatkem spodní vody, jež se poslední dobou naskýtají, dále s ohledem na nepředvídatelnost budoucího vývoje hladiny spodních vod, je vhodné zvážit riziko budoucího nedostatku vody.

<sup>5</sup> Jedná se o termální oblasti, u nás je to například Krušnohoří a Karlovarsko.

### 3 Tepelné ztráty objektu

#### 3.1 Popis objektu

Jako objekt byla zvolena novostavba rodinného domu. Jedná se o jednopodlažní objekt bez sklepa. RD se nachází v Králíkách v okrese Ústí nad Orlicí. Samostatně stojící stavba, jež nemá žádnou společnou stěnu a lze ji považovat za nechráněnou. Stavba je obdélníkového půdorysu se zástavbovou plochou 120 m<sup>2</sup>. Objekt obývají zatím 2 lidé. K vytápění objektu slouží podlahové vytápění, které je zajištěno stávajícím plynovým kotlem.



Obr. 3.1 Fotografie objektu

#### 3.2 Výpočet tepelných ztrát

Výpočet je proveden dle normy ČSN 060210/1994<sup>6</sup>. Veškeré podklady pro výpočet byly získány ze zdroje [15], čili veškeré vztahy, hodnoty, nebude-li explicitně uvedeno jinak, jsou použity či odvozeny z dané literatury.

##### 3.2.1 Celková tepelná ztráta

Celková tepelná ztráta  $Q_C$  se spočte dle vztahu:

$$Q_C = Q_{pc} + Q_{vc} \quad [W] \quad (3.1)$$

Kde:  $Q_{pc}$  je celková tepelná ztráta prostupem [W]

$Q_{vc}$  - celková tepelná ztráta výměnou vzduchu [W]

##### 3.2.2 Tepelná ztráta prostupem

Tepelná ztráta prostupem  $Q_{pc}$  se spočte ze vztahu:

---

<sup>6</sup> Aktuálně platná norma ČSN EN 12831-1 z roku 2005 je méně intuitivní a tepelné ztráty dle ní spočtené se nikterak výrazně neliší od hodnot spočtených dle normy ČSN 060210/1994. Rozdíl spočtených hodnot prakticky nemá vliv na volbu výkonu TČ. Mnoho firem pro výpočet tepelných ztrát používá právě normu z roku 1994.

$$Q_{pc} = \sum Q_{pi} \quad [W] \quad (3.2)$$

Kde:  $Q_{pi}$  je tepelná ztráta prostupem i-té místnosti [W]

Tepelná ztráty jednotlivých místností  $Q_{pi}$  se určí ze vztahu:

$$Q_{pi} = Q_{pio} \cdot (1 + p_1 + p_2 + p_3) \quad [W] \quad (3.3)$$

Kde:  $Q_{pio}$  je tepelná ztráta prostupem i-té místnosti bez přírážek [W]

Tepelná ztráta i-té místnosti bez přírážek  $Q_{pio}$  se určí následovně:

$$Q_{pio} = \sum k_j \cdot S_j \cdot (t_i - t_e) \quad [W] \quad (3.4)$$

Kde:  $k_j$  je součinitel prostupu tepla j-tou stěnou [ $W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$ ]

$S_j$  - plocha j-té stěny [ $m^2$ ]

$t_i$  - výpočtová vnitřní teplota vzduchu ve vytápěné místnosti [ $^{\circ}C$ ]

$t_e$  - výpočtová vnější teplota vzduchu [ $^{\circ}C$ ]

$p_1$  - přírážka na vyrovnání vlivu chladných stěn [-]

$p_2$  - přírážka na urychlení zátoku [-]

$p_3$  - přírážka na světovou stranu [-]

Přírážka na vyrovnání vlivu chladných stěn  $p_1$  se spočte dle vztahu:

$$p_1 = 0,15 \cdot \frac{Q_{pio}}{\sum S_j (t_i - t_e)} \quad [-]^7 \quad (3.5)$$

Přírážka na urychlení zátoku se volí podle typu objektu a doby vytápění. Při uvážení nepřetržitého vytápění  $p_2 = 0$ . [16]

Přírážka na světovou stranu  $p_3$  se volí dle orientace nejvíce ochlazované konstrukce, jsou-li ochlazované dvě konstrukce, výše přírážky se určí dle orientace společného rohu. V případě tří a více ochlazovaných konstrukcí se volí nejvyšší přírážka. [16]

### 3.2.3 Vzorový výpočet tepelné ztráty prostupem

Na Obr. 3.2 je znázorněn půdorys objektu. Pro vzorový výpočet byl zvolen pokoj 1 s označením 1.05.

Veškeré potřebné hodnoty charakteristické pro danou stavbu byly vyčteny ze stavební dokumentace. Tyto hodnoty vstupující do vzorového výpočtu jsou zaznamenány na Obr. 3.3 a jsou již přiřazeny ke konkrétním konstrukčním prvkům. Tyto hodnoty budou dále vstupovat do výpočtu bez dalšího komentáře.

<sup>7</sup> Z fyzikálního hlediska je jednotkou  $W/m^2 \cdot K^{-1}$ , do dalších výpočtů však  $p_1$  vstupuje jako bezrozměrná jednotka.



<sup>9</sup>Výkres nesplňuje stavařské požadavky!

Dle normy ČSN 060210/1994 má každý konstrukční prvek svou zkratku. Pro účely vzorového výpočtu stačí vědět, že:

- SO    je stěna ochlazovaná  
OZ    - okno zdvojené  
SN    - stěna neochlazovaná  
DN    - dveře neochlazované  
Str    - strop  
Pdl    - podlaha

Pro názornost bude vypočtena východní ochlazovaná stěna se zdvojeným oknem. K výpočtu je použit vztah zřejmý z (3.4), pro jistotu však platí:

$$Q_{pj} = k_j \cdot S_j \cdot (t_i - t_e) \text{ [W]} \quad (3.6)$$

- Kde:  $k_j$     je součinitel prostupu tepla j-tého konstrukčního prvku [ $\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$ ]  
 $S_j$     - plocha prvku [ $\text{m}^2$ ]  
 $t_i$     - výpočtová vnitřní teplota vzduchu ve vytápěné místnosti [ $^{\circ}\text{C}$ ]  
 $t_e$     - výpočtová vnější teplota vzduchu [ $^{\circ}\text{C}$ ]

Při výpočtu je nutné vypočítat zvlášť prostup tepla stěnou a oknem. Za předpokladu, že  $t_e = -15^{\circ}\text{C}$ <sup>10</sup>. Po dosazení hodnot zřejmých z Obr. 3.3 do rovnice (3.6) vyjde ztráta prostupem pro stěnu následovně:

$$Q_{pstěna} = 0,2 \cdot ((3,95 \cdot 2,6) - (1,4 \cdot 1,35)) \cdot (20 - (-15)) = \mathbf{58,66 \text{ W}}$$

Obdobně pro okno:

$$Q_{pokno} = 1 \cdot (1,4 \cdot 1,35) \cdot (20 - (-15)) = \mathbf{66,15 \text{ W}}$$

Stejným způsobem byla vypočtena ztráta všech zbývajících konstrukčních prvků místnosti. Získané hodnoty byly zaznamenány v následující tabulce.

---

<sup>10</sup> Hodnota platná pro okres Ústí nad Orlicí.



Tab. 3.1 Tepelné ztráty prostupem výpočtové místnosti

Prvek	délka stěny a	výška stěny b	plocha $S_0$	plocha s otvorem S	souč. prostupu tepla k	rozdíl teplot $\Delta T$	Ztráty prostupem $Q_{p0}$	p1
								[-]
								0,02
	[m]	[m]	[m <sup>2</sup> ]	[m <sup>2</sup> ]	[W/m <sup>2</sup> K]	[K]	[W]	p2
SO	3,95	2,60	10,27	8,38	0,20	35	<b>58,66</b>	[-]
OZ	1,40	1,35	1,89	-	1,00	35	<b>66,15</b>	0,00
SO	3,56	2,60	9,24	7,35	0,20	35	51,47	p3
OZ	1,40	1,35	1,89	-	1,00	35	66,15	[-]
SN	3,95	2,60	10,27	8,69	0,90	0	0,00	0
DN	0,80	1,97	1,58	-	2,90	0	0,00	Celkem $Q_p$
SN	3,56	2,60	9,24	-	1,20	0	0,00	
strp	3,56	3,95	14,04	-	0,10	35	49,15	[W]
pdl	3,56	3,95	14,04	-	0,30	15 <sup>11</sup>	63,19	<b>363</b>

Přirážka na vyrovnaní vlivu chladných konstrukcí  $p_1$  byla získána dosazením hodnot z Tab. 3.1 do vztahu (3.5). Pro názornost:

$$p_1 = 0,15 \cdot \frac{(354,77)}{(67,11) \cdot (20 - (-15))} = 0,02$$

Přirážka na urychlení zátoku  $p_2 = 0$ .

Přirážka na světovou stranu  $p_3 = 0$ . Místnost má 2 ochlazované stěny a jejich společný roh leží jihovýchodně. [16]

Dosazením hodnot z Tab. 3.1 a přirážek do rovnice (3.3) vyjde:

$$Q_p = 354,77 \cdot (1 + 0,02 + 0) = \mathbf{363\ W}$$

Výsledná tepelná ztráta prostupem místnosti  $1.05\ Q_p = \mathbf{363\ W}$

### 3.2.4 Tepelná ztráta výměnou vzduchu

K tepelným ztrátám objektu dochází také vlivem výměny vzduchu. Výměna vzduchu v místnosti, potažmo objektu, je způsobena přirozenou infiltrací či větráním. Kde infiltrace je závislá na velikosti objemového průtoku vzduchu přes filtrační spáry výplňových konstrukcí (okna, dveře). Větrání je cílená výměna vzduchu z hygienických či technologických důvodů. Reálně probíhají tyto dvě výměny souběžně, ale pro normovaný výpočet se počítá pouze s jednou, s vyšší z této dvojice.

<sup>11</sup> Pod podlahou je volena teplota 5°C [16], čili  $\Delta t = (20 - 5) = 15\ ^\circ\text{C}$ .

Celková tepelná ztráta výměnou vzduchu v objektu  $Q_{Vc}$  se spočte ze vztahu:

$$Q_{Vc} = \sum Q_{Vi} \quad [W] \quad (3.7)$$

Kde:  $Q_{Vi}$  je tepelná ztráta způsobená výměnou vzduchu v i-té místnosti [W]

Tepelná ztráta výměnou vzduchu i-té místnosti  $Q_{Vi}$  se spočte ze vztahu:

$$Q_{Vi} = 1300 \cdot V_{Vi} \cdot (t_i - t_e) \quad [W] \quad (3.8)$$

Kde:  $V_{Vi}$  je objemová výměna vzduchu v místnosti [ $m^3 \cdot s^{-1}$ ]

$t_i$  - výpočtová vnitřní teplota vzduchu ve vytápěné místnosti [ $^{\circ}C$ ]

$t_e$  - výpočtová vnější teplota vzduchu [ $^{\circ}C$ ]

Pro objemovou výměnu vzduchu i-té místnosti  $V_{Vi}$  platí:

$$V_{Vi} = \max(V_{infi}; V_{vi}) \quad [m^3 \cdot s^{-1}] \quad (3.9)$$

Kde:  $V_{infi}$  je objemová výměna vzduchu infiltrací i-té místnosti [ $m^3 \cdot s^{-1}$ ]

$V_{vi}$  - objemová výměna vzduchu větráním i-té místnosti [ $m^3 \cdot s^{-1}$ ]

Objemová výměna vzduchu větráním i-té místnosti  $V_{vi}$  se spočte dle:

$$V_{vi} = \frac{n \cdot V_i}{3600} \quad [m^3 \cdot s^{-1}] \quad (3.10)$$

Kde:  $n$  je hygienická či technologická intenzita výměny vzduchu [ $h^{-1}$ ]

$V_i$  - objem i-té místnosti [ $m^3$ ]

Objemová výměna vzduchu infiltrací i-té místnosti  $V_{infi}$  se vypočte dle vztahu:

$$V_{infi} = \sum (i_j \cdot l_j) \cdot B \cdot M \quad [m^3 \cdot s^{-1}] \quad (3.11)$$

Kde:  $i_j$  je součinitel spárové objemové vzduchové propustnosti j-té výplňové konstrukce [ $m^2 \cdot s^{-1} \cdot Pa^{-0,67}$ ]

$l_j$  - délka spár j-té výplňové konstrukce [m]

$B$  - charakteristické číslo budovy [ $Pa^{0,67}$ ]

$M$  - charakteristické číslo místnosti [-]

Charakteristické číslo budovy  $B$  se určuje v závislosti na intenzitě větru a poloze objektu v krajině.

Charakteristické číslo místnosti  $M$  se určuje podle počtu a typu vnitřních dveří v místnosti.



**3.2.5 Vzorový výpočet tepelných ztrát výměnou vzduchu**

I v tomto případě byla pro vzorový výpočet zvolena místnost 1.05. Veškeré hodnoty vstupující do výpočtů jsou taktéž zřejmé z Obr. 3.3

V první řadě je nezbytné určit vyšší z dvojice  $V_{inf}$  a  $V_v$ . Jako prvé bude určeno  $V_{inf}$ , jež se spočte z rovnice (3.11). Hodnoty  $i_j$  a  $l_j$  jsou dány typem výplňových konstrukcí.

Charakteristické číslo budovy  $B = 8 \text{ Pa}^{0,67}$ . Hodnota byla odečtena ze stavební dokumentace a ověřena dle [16]. Charakteristické číslo místnosti  $M = 0,7$  určeno taktéž dle [16].

Po dosazení hodnot do (3.11) vyjde:

$$V_{inf} = 8 \cdot 0,7 \cdot ((5,5 + 5,5 + 5,6) \cdot 1,4 \cdot 10^{-4}) = 1,3 \cdot 10^{-2} \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$$

Nyní je nutné určit  $V_v$ . To se spočte dosazením do rovnice (3.10). Intenzita výměny vzduchu  $n = 0,5 \text{ h}^{-1}$  [17].

Po vypočtení objemu místnosti z hodnot zřejmých na Obr. 3.3 a dosazení vyjde:

$$V_v = \frac{0,5 \cdot (3,95 \cdot 3,56 \cdot 2,6)}{3\,600} = 0,507 \cdot 10^{-2} \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$$

Je zřejmé, že  $V_{inf} > V_v$ . Potom tedy platí  $V_v = V_{inf}$

Po dosazení do vztahu (3.8) platí:

$$Q_v = 1\,300 \cdot 1,3 \cdot 10^{-2} \cdot (20 - (-15)) = \mathbf{592 \text{ W}}$$

Výsledná tepelná ztráta výměnou vzduchu, v tomto případě infiltrací, místnosti 1.05  $Q_v = \mathbf{592 \text{ W}}$ . Výpočet  $Q_v$  byl pro názornost zaznamenán do následující tabulky.

Tab. 3.2 Tepelné ztráty výměnou vzduchu výpočtové místnosti

$Q_v$ [W]	char. číslo budovy $B = 8 \text{ [Pa}^{0,67}]$	char. Číslo místnosti $M = 0,7[-]$		$n=0,5 \text{ [h}^{-1}]$
<b>592</b>	i	l	$V_{inf}$	$V_v$
Prvek	$[\text{m}^2/\text{s} \cdot \text{Pa}^{0,67}]$	[m]	$[\text{m}^3/\text{s}]$	$[\text{m}^3/\text{s}]$
OZ	$1,4 \cdot 10^{-4}$	5,5	$4,31 \cdot 10^{-3}$	-
OZ	$1,4 \cdot 10^{-4}$	5,5	$4,31 \cdot 10^{-3}$	-
DN	$1,4 \cdot 10^{-4}$	5,6	$4,39 \cdot 10^{-3}$	-
Celkem	-	-	<b><math>1,3 \cdot 10^{-2}</math></b>	<b><math>0,507 \cdot 10^{-2}</math></b>

### 3.2.6 Celková tepelná ztráta objektu

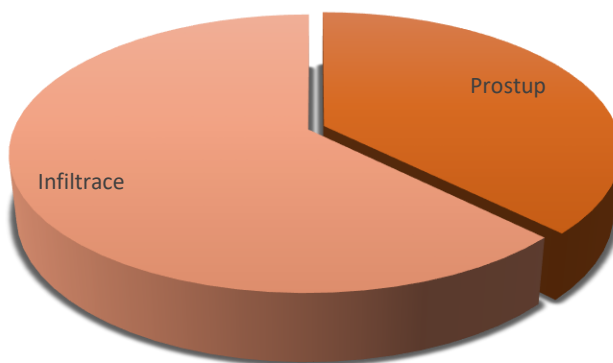
Obdobným způsobem byla vypočtena tepelná ztráta všech zbývajících místností. Tyto vypočtené hodnoty byly zaznamenány do následující tabulky. Místnost 1.10 není vytápěna, je v ní uvažována venkovní teplota. Tento fakt byl zahrnut během výpočtu tepelných ztrát sousedících místností.

Tab. 3.3 Celkové ztráty objektu

Poř. číslo míst.	Číslo místnosti	Název místnosti	Ti [°C]	Plocha podlahy [m <sup>2</sup> ]	Objem místnosti [m <sup>3</sup> ]	Ztráta Q			měrná tepelná ztráta q [W.K <sup>-1</sup> ]
						Prostupem [W]	infiltrací [W]	Celkem Q <sub>c</sub> [W]	
1	1.01	vstup	20	3,3	8,58	152	457	609	17,40
2	1.02	chodba	20	7,8	20,28	53	0	53	1,51
3	1.03	ložnice	20	13,7	35,62	340	610	950	27,14
4	1.04	šatna	20	4,4	11,44	58	200	258	7,37
5	1.05	pokoj 1	20	14,0	36,4	363	592	955	27,29
6	1.06	pokoj 2	20	7,1	18,46	167	396	563	15,09
7	1.07	wc	24	1,9	4,94	103	207	310	7,95
8	1.08	TM	20	3,7	9,62	4	190	194	5,54
9	1.09	koupelna	24	4,6	11,96	200	371	571	14,64
10	1.11	Kuchyň +OP	20	35,8	93,08	940	956	1896	54,17
-	-	-	-	-	Σ	Σ	Σ	Σ	Σ
-	-	-	-	-	250,38	2380	3 979	6 359	179,1

Z tabulky je zřejmé, že celková výpočtová tepelná ztráta objektu při -15 °C  $Q_c = 6\,359\text{ W}$ .

Tepelné ztráty [W]



Obr. 3.4 Celková tepelná ztráta objektu

## 4 Množství tepla

Množství tepla, jež musí TČ dodat se rovná součtu energie potřebné pro vyrovnání tepelných ztrát a energie potřebné pro ohřev TUV. Veškeré vztahy a hodnoty, nebude-li explicitně uvedeno jinak, jsou považovány za základní znalost, nebo byly intuitivně odvozeny.

### 4.1 TUV

Množství tepla potřebné pro roční ohřev TUV  $Q_{rTUV}$  se spočte dle vztahu:

$$Q_{rTUV} = \frac{V_{TUV,od} \cdot C_{H_2O} \cdot \rho_{H_2O} \cdot (t_{TUV} - t_{vin}) \cdot 365 \cdot n_o}{3,6 \cdot 10^6} \quad [kWh/rok]^{12} \quad (4.1)$$

Kde:  $V_{TUV,od}$  je objem TUV na osobu a den [ $m^3$ ]

$C_{H_2O}$  - měrná tepelná kapacita vody [ $J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$ ]

$\rho_{H_2O}$  - hustota vody [ $kg \cdot m^{-3}$ ]

$t_{TUV}$  -teplota TUV [ $^{\circ}C$ ]

$t_{vin}$  -průměrná teplota studené vody v řádu [ $^{\circ}C$ ]

$n_o$  -počet lidí v domácnosti [-]

Objem TUV na osobu a den  $V_{TUV,od} = 0,082 m^3$  [18]. Hustota vody  $\rho_{H_2O} = 997 kg \cdot m^{-3}$ . Měrná tepelná kapacita vody  $C_{H_2O} = 4180 J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$ . Teplota TUV  $t_{TUV} = 55^{\circ}C$ <sup>13</sup>. Průměrná teplota studené vody v řádu  $t_{vin} = 10^{\circ}C$ <sup>14</sup>. Objekt je obýván dvěma lidmi, proto  $n_o = 2$ .

Po dosazení do vztahu (4.1) platí:

$$Q_{rTUV} = \frac{0,082 \cdot 4180 \cdot 997 \cdot (55 - 10) \cdot 365 \cdot 2}{3,6 \cdot 10^6} = 3118 kWh/rok$$

Roční potřebná energie na ohřev TUV  $Q_{rTUV} = 3118 kWh$

Podělením této hodnoty počtem osob v objektu a dní v roce vyjde hodnota 4,3 kWh, což je teplo potřebné pro ohřev TUV na jednu osobu a jeden den. Normovaná výpočtová hodnota dle ČSN 06 0320 [18] je 4,3kWh. Tato shoda okolností je důkazem správné úvahy a dobrého výpočtu.

### 4.2 Teplo na vyrovnání tepelných ztrát

Pro výpočet celkového tepla potřebného na vyrovnání tepelných ztrát  $Q_r$  platí vztah:

$$Q_r = \sum Q_{mi} \quad [kWh/rok] \quad (4.2)$$

<sup>12</sup> 1 kWh =  $3,6 \cdot 10^6$  J

<sup>13</sup> Dle normy ČSN 060320 a Vyhlášky ministerstva zdravotnictví č. 237/2004 Sb. Teplota 55  $^{\circ}C$  je volena z důvodu ochrany uživatele před bakterií legionellou.

<sup>14</sup> Hodnota získána na základě informací poskytnutých ČHMÚ.

Kde  $Q_{mi}$  je teplo potřebné na vyrovnání tepelných ztrát i-tého měsíce [kWh]

Teplo potřebné na vyrovnání tepelných ztrát i-tého měsíce  $Q_{mi}$  se spočte dle vztahu:

$$Q_{mi} = \frac{q_c \cdot (t_{pin} - t_{pi}) \cdot 24 \cdot d_i}{1000} \quad [kWh] \quad (4.3)$$

Kde:  $q_c$  je celková měrná tepelná ztráta objektu [ $W \cdot K^{-1}$ ]

$t_{pin}$  - průměrná teplota v objektu [ $^{\circ}C$ ]

$t_{pi}$  - průměrná venkovní teplota i-tého měsíce [ $^{\circ}C$ ]

$d_i$  - počet dní i-tého měsíce [-]

Hodnota  $q_c$  je zřejmá z Tab. 3.3. Průměrná teplota objektu byla spočtena a zaokrouhlена,  $t_{pin} = 21^{\circ}C$ .

#### 4.2.1 Vzorový výpočet energie na vyrovnání tepelných ztrát

Vzorově bude vypočteno potřebné teplo za měsíc leden. Průměrná lednová teplota  $t_{pleden}$ , i teplota všech ostatních měsíců, byla získána na stránkách ČHMÚ[19].

$$t_{pleden} = -1,15^{\circ}C$$

Po dosazení do vztahu (4.3) platí:

$$Q_{leden} = \frac{179,1 \cdot (21 - (-1,15)) \cdot 24 \cdot 31}{1\,000} = 2\,952 \text{ kWh}$$

Celková energie potřebná na vyrovnání tepelných ztrát v lednu  $Q_{leden} = 2\,952 \text{ kWh}$

#### 4.2.2 Celková energie potřebná na vytápění

Obdobným způsobem, jako byl vypočítán měsíc leden, byly spočteny a vloženy do následující tabulky i zbývající měsíce otopné sezóny. Otopná sezóna byla uvažována od 1. září do 31. května.

Tab. 4.1 Teplo potřebné na vyrovnání tepelných ztrát

Měsíc	září	říjen	listopad	prosinec	leden	únor	březen	duben	květen	Roční spotřeba tepla pro vytápění $Q_r$ [kWh]
Prům. Teplota [ $^{\circ}C$ ]	13,4	9,1	4,6	1,3	-1,15	0,8	3,2	8,9	13,4	
počet top. dnů [-]	30	31	30	31	31	28	31	30	31	
Teplo $Q_m$ [kWh]	980	1 586	2 115	2 625	2 952	2 431	2 372	1 560	1 013	17 634

### 4.3 Celková roční spotřeba tepla

Celková roční spotřeba energie se určí ze vztahu:

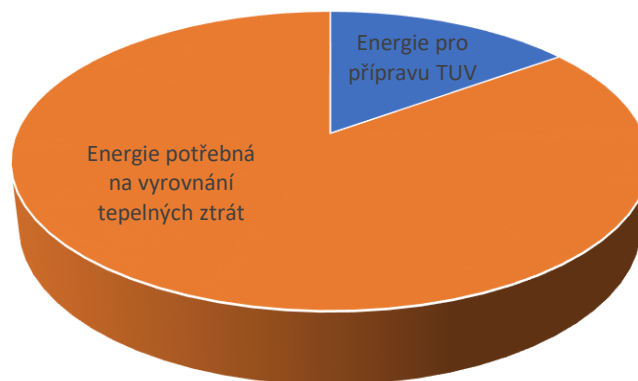
$$Q_{ročni} = Q_r + Q_{rtuv} \quad [kWh/rok] \quad (4.4)$$

Po dosazení:

$$Q_{ročni} = 17\,634 + 3\,118 = 20\,752 \text{ kWh/rok}$$

Celková roční spotřeba tepla činí **20 752 kWh**. Podíl jednotlivých složek je zřejmý z následujícího grafu.

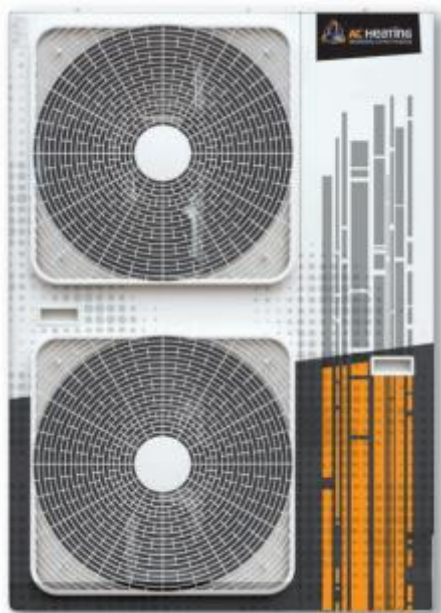
Roční spotřeba tepla



*Obr. 4.1 Celková roční spotřeba tepla*

## 5 Výběr konkrétního TČ

Na základě tepelných ztrát, jež činí při teplotě  $-15\text{ °C}$   $6,4\text{ kW}^{15}$ , byla hledána TČ, jež jsou schopna tuto ztrátu pokrýt. Po oslovení několika firem a konzultaci s jejich zástupci bylo zvoleno TČ vzduch-voda Convert AW14 od firmy AC Heating, viz. následující obrázek.



Obr. 5.1 TČ TČ vzduch-voda Convert AW14

Zvolené tepelné čerpadlo je v děleném provedení (tzv. split provedení) tzn. výparník se nachází venku a kondenzátor s kompresorem se nachází uvnitř objektu. Dotyčné TČ je dodáváno společně s veškerým příslušenstvím. Včetně zásobníku TUV o objemu 250 l a systémové jednotky. Elektronicky řízená regulace zaručuje prakticky libovolný výkon až do maximálního výkonu TČ, který je  $14,7\text{ kW}$ . Při teplotě  $-15\text{ °C}$  je TČ schopno plně pokrýt tepelné ztráty objektu. K TČ je sice dodáván elektrokotel jako bivalentní zdroj o výkonu  $6\text{ kW}$ , ale bod bivalence je při teplotě nižší než  $-15\text{ °C}$ , proto pro výpočet ekonomické návratnosti bude uvažován čistě monovalentní provoz.

Vzhledem k využití podlahového vytápění je zcela dostačující teplota otopné vody  $35\text{ °C}^{16}$ . Teplotní spát je uvažován  $35\text{ °C}$  vstup a  $28\text{ °C}$  výstup. Pro TUV je vyžadována teplota  $55\text{ °C}$ . Dané TČ dokáže ohřát vodu na více než  $55\text{ °C}$ . Zařízení je opatřeno elektronicky řízeným trojcestným ventilem, čili je ohřívána otopná voda na teplotu  $35\text{ °C}$  nebo TUV na  $55\text{ °C}$ .

### 5.1 Stávající plynový kotel

Pro vytápění objektu a přípravu TUV je využíván blíže nespecifikovaný plynový kondenzační kotel o maximálním výkonu  $14\text{ kW}$ . Z průkazu energetické náročnosti bylo vyčteno, že kotel pracuje s  $94\%$  účinností. Stávající zásobník TUV má objem  $120\text{ l}$ .

<sup>15</sup> Nezahrnuje výkon potřebný pro ohřev TUV, neboť samotný ohřev TUV je otázkou několika desítek minut, jež není doba dostatečná pro znatelné ochlazení vytápěného prostoru.

<sup>16</sup> V praxi je tato hodnota závislá na majiteli. Ne zřídka tato teplota klesá i pod  $30\text{ °C}$ , čímž dochází k zvýšení topného faktoru.

## 6 Ekonomické zhodnocení

### 6.1 Náklady na pořízení TČ

Po konzultaci se zástupcem firmy AC Heating byly náklady na TČ vyčísleny následovně:

Tab. 6.1 Náklady na pořízení TČ

Položka	Popis položka	Množství (ks)	Cena/ks (Kč) bez DPH	Cena (Kč) bez DPH
1	TČ vzduch voda Convert AW14	1	154 900	154 900
2	Regulace xCC Family	1	24 900	24 900
3	Konzole pod venkovní jednotku	1	2 140	2 140
4	Montážní sada AW6-19	1	1 200	1 200
5	Propojovací vedení	4	699	2 796
6	Montáž	1	9600	9 600
7	Dopravné	200	12,5	2 500
8	Vyrovňovací nádoba + 6 kW topné těleso	1	13 500	13 500
9	Trojcestný ventil přepínací	1	3 890	3 890
10	Zásobník TUV-ACH 250 TUV	1	17 400	17 400
cena bez DPH				232 826
<b>Celková cena včetně 15 % DPH</b>				<b>267 750</b>

### 6.2 Náklady na pořízení plynového kotle

Jak již bylo řečeno dříve, jedná se o novostavbu, čili kdyby se již při projekci počítalo s TČ, odpadlo by mnoho nákladů spojených s přívodem a instalací plynu. Tento fakt bude hrát velice významnou roli při konečném zhodnocení.

### 6.3 Náklady při využití TČ

#### 6.3.1 Cena elektřiny

Při využívání TČ je možné požádat o zvýhodněnou sazbu na elektřinu D 57d. Jedná se o dvoutarifovou sazbu s nízkým tarifem po dobu 20 hodin denně. Poskytovatelem je společnost ČEZ.[20]

Tab. 6.2 Cena elektřiny

	Cena 1kWh (Kč)	Počet hodin
Vysoký tarif	2,671	4
Nízký tarif	2,594	20
Vážený průměr	<b>2,610</b>	24

Jako cena elektřiny bude uvažován vážený průměr nízkého a vysokého tarifu odečtený z předcházející tabulky  $c_{el} = 2,610 \text{ Kč} \cdot \text{kWh}^{-1}$ .

### 6.3.2 Roční náklady při využití TČ

Výrobce uvádí  $SCOP = 4,62^{17}$ . Daná hodnota však byla spočtena pro modelovou zimu, kde uvažovaná výpočtová teplota byla  $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ . V dosavadních výpočtech však byla použita hodnota  $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Z tohoto důvodu bude pro výpočet uvažován  $SCOP = 4,0$ . Hodnota byla hrubě odhadnuta za účelem získání reálnějšího výsledku.

Roční náklady při využití TČ  $N_{rT\check{C}}$  se určí ze vztahu:

$$N_{rT\check{C}} = \frac{Q_{roční} \cdot c_{el}}{SCOP} \quad [\text{Kč/rok}] \quad (6.1)$$

Po dosazení:

$$N_{rT\check{C}} = \frac{20\,752 \cdot 2,610}{4} = 13\,540 \text{ Kč/rok}$$

Roční náklady při využití TČ činí **13 540 Kč**

### 6.4 Náklady při využití plynového kotle

Cena 1 kWh plynu je pro domácnosti určována dle ročního odběru. Poskytovatelem plynu je Innogy Energie, s. r. o. Pro domácnost s odběrem od 15 do 25 MWh za rok je cena jedné kWh 1,260 Kč. Tedy  $c_{plyn} = 1,260 \text{ Kč} \cdot \text{kWh}^{-1}$ . Účinnost plynového kotle  $u = 0,94$ .

Roční náklady při využití plynového kotle  $N_{rPK}$  se určí dle vztahu:

$$N_{rPK} = \frac{Q_{roční} \cdot c_{plyn}}{u} \quad [\text{Kč/rok}] \quad (6.2)$$

Po dosazení:

$$N_{rPK} = \frac{20\,752 \cdot 1,260}{0,94} = 27\,817 \text{ Kč/rok}$$

Roční náklady při využití plynového kotle činí **27 817 Kč**

### 6.5 Roční úspora

Roční úspora  $N_{rU}$  při využití TČ se spočte jako rozdíl ročních nákladů jednotlivých způsobů vytápění, platí vztah:

$$N_{rU} = N_{rT\check{C}} - N_{rPK} \quad [\text{Kč/rok}] \quad (6.3)$$

Po dosazení:

$$N_{rU} = 27\,817 - 13\,540 = 14\,277 \text{ Kč/rok}$$

Roční úspora při využití tepelného čerpadla činí **14 277 Kč** ročně.

---

<sup>17</sup> Dle normy ČSN EN 14511 (měřeno ve Strojírenském zkušebním ústavu s.p., Brno, registrovaném centru EHPA při 50% výkonu).



## 6.6 Návratnost

Návratnost  $T_N$  se určí jako podíl rozdílu pořizovacích nákladů a roční úspory. Platí tedy vztah:

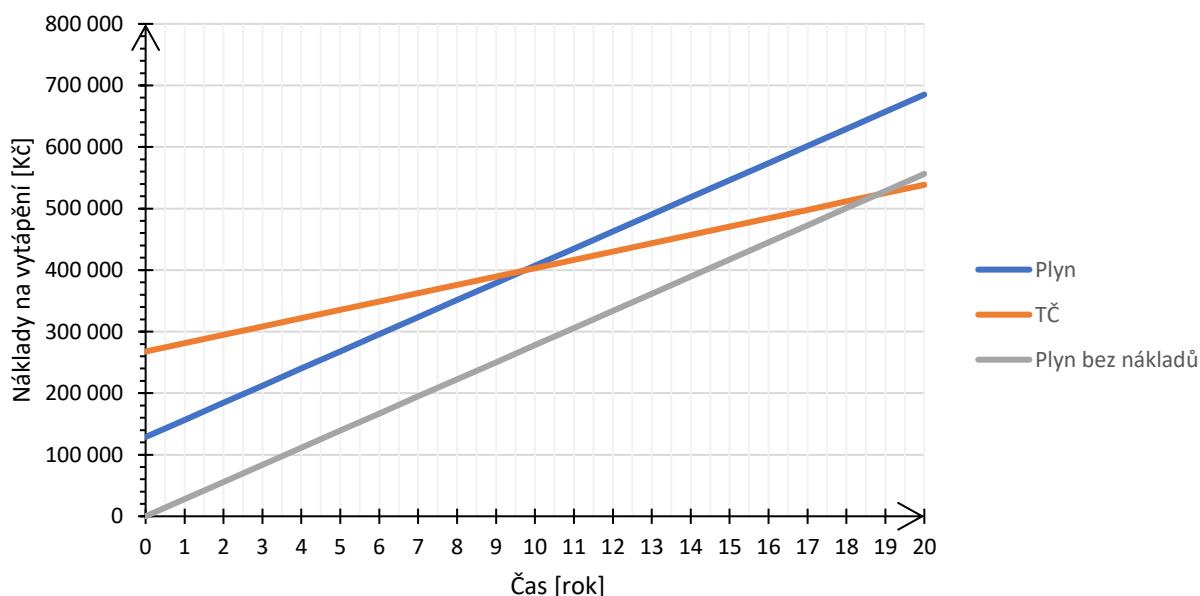
$$T_N = \frac{PN_{T\check{C}} - PN_{PK}}{N_{rU}} \quad [\text{rok}] \quad (6.4)$$

Po dosazení:

$$T_N = \frac{138\,950}{14\,277} = 9,7 \text{ let}$$

Návratnost investice je zhruba 10 let. Pro názornost je přiloženo grafické znázornění.

### Návratnost



Obr. 6.1 Grafické znázornění návratnosti

Kdyby majitel takovýto objekt koupil a rozhodoval se pro přechod na TČ, kdyby se logicky neuvažovaly pořizovací náklady spojené s plynem, byla by návratnost asi 19 let.

Jak je zřejmé z Obr. 6.1 na návratnost má veliký vliv pořizovací cena obou zdrojů energie. Neméně důležitý vliv má roční úspora, která se odvíjí od ceny jednotlivých energií a od množství spotřebované energie. Investice do TČ by se u zvoleného objektu měla vrátit do 10 let, což už není moc dlouhá doba. Díky propracované a inteligentní regulaci výkonu, kontrolovanému spínání a vypínání kompresoru se dá očekávat, že životnost jednotlivých komponent by tuto dobu přesáhla, a TČ by bylo výhodnou investicí.

## **Závěr**

Cílem této bakalářské práce, jejímž primárním účelem je splnění nezbytné podmínky pro úspěšné ukončení studia, bylo mimo jiné představit princip fungování tepelných čerpadel. Nastínění funkce jednotlivých komponent. Poskytnutí základních informací o možných zdrojích nízkopotenciálního tepla a o kladech či záporech, které s tím souvisí. Na základě tepelných ztrát navrhnout konkrétní TČ pro zvolený objekt a následnou instalaci posléze technicko-ekonomicky zhodnotit.

Teoretická část je věnována řešerši a poskytuje čtenáři základní informace o problematice TČ. I čtenář, který se dříve nikterak výrazně nezajímal o tuto problematiku, by měl být schopen textu porozumět, orientovat se a něco si z něj odnést.

Praktická část je věnována výpočtu tepelných ztrát, teple potřebnému pro vytápění a ohřev TUV. Pro názornou ukázkou byla vypočtena tepelná ztráta konkrétní místnosti. Byly osvětleny jednotlivé veličiny společně s jejich hodnotami. Stejně tak byla vzorově vypočtena celková potřebná energie na vytápění a ohřev TUV. Na přehlednost a příkladnost byl kladen důraz, neboť byla jistá snaha, aby tato práce mohla posloužit i laikovi, který si chce spočítat tepelné ztráty či potřebnou energii pro vytápění a ohřev TUV, neboť při psaní této práce byl zjištěn fakt, že takového materiálu není mnoho. Na základě takto spočtených hodnot bylo zvoleno konkrétní TČ a provedeno technicko-ekonomické zhodnocení.

Jako náhrada stávajícího plynového kotle bylo zvoleno TČ vzduch-voda Convert AW14 od firmy AC Heating, TČ je schopno až do teploty -15 °C plně pokrýt spotřebu zvoleného objektu, z toho důvodu byl uvažován monovalentní provoz, jenž výpočet lehce usnadnil. TČ dokáže ohřívat TUV na požadovanou teplotu 55 °C a vytápět objekt, uvažovaná teplota je 35 °C na vstupu a 28 °C na výstupu podlahového vytápění. Stávající 120 l zásobník TUV by byl nahrazen 250 l zásobníkem, který je dodáván společně s TČ. Součástí uvažované instalace je i elektrokotel, který by v případě potřeby pomohl TČ pokrýt tepelné ztráty objektu.

Při zvolení konkrétního TČ by majitel za jednu otopnou sezónu za stávajících cen energií ušetřil 14 277 Kč oproti plynovému kotli. Dané úspory by bylo dosaženo při zachování stejného tepelného komfortu. Daná investice by se měla vrátit za necelých deset let od instalace. Veliký vliv na návratnost měly náklady spojené s plynem. Roční úspora je silně ovlivněna cenou energií a potřebou tepla objektu. Je zřejmé že s rostoucí cenou energií a potřebou tepla roste i roční úspora. Deset let není nikterak dlouhá doba, a proto lze za předpokladu nadále se zvyšujících cen energií považovat TČ jako vhodnou investici. Dnešní kompresory mají inteligentní a propracovaná elektronická řízení výkonu, která jejich životnost ještě více prodlužují, čili jejich životnost by určitě měla přesáhnout deset let.

TČ je vhodnou volbou pro zajištění tepelného komfortu a finanční úspory, o tom svědčí každoročně se navyšující počet instalací. I do budoucna lze očekávat nárůst oblíbenosti a počtu instalací TČ, a to u nás i ve světě.

## Seznam použitých zdrojů

- [1] KARLÍK, Robert. *Tepelné čerpadlo pro váš dům*. 1. vyd. Praha: Grada Publishing, a.s., 2009. ISBN 978-80-247-2720-2.
- [2] SRDEČNÝ, Karel a Jan TRUXA. *Tepelná čerpadla*. 1. vyd. Brno: Vydavatelství ERA, 2005. ISBN 80-7366-031-8.
- [3] PETRÁK, Jiří a Zdeněk DVOŘÁK. *Tepelná čerpadla*. 1. vyd. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 1991. ISBN 80-01-00643-3.
- [4] SLOVÁČEK, Josef. *Historie a vývoj tepelných čerpadel v ČR a EU* [online]. 2009 [vid. 2019-03-06]. Dostupné z: <https://www.asb-portal.cz/stavebnictvi/technicka-zarizeni-budov/vytapeni/historie-avyvoj-tepelnych-cerpadel-vcr-aeu>
- [5] STRAKA, Tomáš. *Budoucnost tepelných čerpadel v Evropě a v ČR* [online]. 2018 [vid. 2019-03-09]. Dostupné z: <https://vytapeni.tzb-info.cz/tepelna-cerpadla/18356-budoucnost-tepelnych-cerpadel-v-evrope-a-v-cr>
- [6] ŽERAVÍK, Antonín. *Stavíme tepelné čerpadlo*. 1. vyd. Přerov: Vydáno vlastním nákladem, 2003. ISBN 80-239-0275-X.
- [7] HOFER, Peter. *Jak funguje tepelné čerpadlo? Vyplatí se?* [online]. [vid. 2019-03-10]. Dostupné z: <http://www.zdrave-bydleni.com/jak-funguje-tepelne-cerpadlo-vyplati-se/>
- [8] *Compressed Air Basics Part 5: Scroll Compressors* [online]. 2017 [vid. 2019-03-20]. Dostupné z: <https://aircompressorworks.com/compressed-air-basics-part-5-scroll-compressors/>
- [9] *Scroll Remanufacture* [online]. 2019 [vid. 2019-03-20]. Dostupné z: <http://m.jehall.com/spare-parts-remanufactured-compressors/reman/scroll-remanufacture>
- [10] *Topný faktor a bod bivalence tepelného čerpadla* [online]. [vid. 2019-04-23]. Dostupné z: <https://www.klimatest.cz/topnyfaktor.html>
- [11] *Tepelná čerpadla vzduch-voda* [online]. [vid. 2019-03-20]. Dostupné z: <https://www.m-klima.cz/tepelna-cerpadla/tepelna-cerpadla-vzduch-voda/>
- [12] DUŠEK, Karel. *Vytápění budo tepelnými čerpadly*. 1. vyd. Praha: SIVO 1955, 1983.
- [13] *Vybíráme tepelné čerpadlo* [online]. 2012 [vid. 2019-03-23]. Dostupné z: <https://vytapeni.tzb-info.cz/tepelna-cerpadla/8295-vybirame-tepelne-cerpadlo>
- [14] *Energie z vody* [online]. [vid. 2019-03-24]. Dostupné z: <http://tc.blueatm.cz/tepelna-cerpadla/tepelne-cerpadlo-voda-voda.html>
- [15] LÁZŇOVSKÝ, Miroslav, Milan KUBÍK a Petr FISCHER. *Vytápění rodinných domků*. 1. vyd. Praha: Nakladatelství T. Malina, 1996. ISBN 80-901975-2-3.
- [16] *VÝPOČET TEPELNÉ ZTRÁTY DLE ČSN 06 0210 - NÁPOVĚDA* [online]. [vid. 2019-04-24]. Dostupné z: [https://vytapeni.tzb-info.cz/docu/tabulky/0001/000107\\_help.html#mistnost\\_m](https://vytapeni.tzb-info.cz/docu/tabulky/0001/000107_help.html#mistnost_m)

- [17] MATHAUSEROVÁ, Zuzana. *Hygienické požadavky na vnitřní prostředí staveb* [online]. 2013 [vid. 2019-04-28]. Dostupné z: <https://vetrani.tzb-info.cz/vnitni-prostredi/9595-hygienicke-pozadavky-na-vnitni-prostredi-staveb>
- [18] *Projekční podklady a pomůcky - Potřeba teplé vody (ČSN 06 0320) - tabulky pro dimenzování zařízení* [online]. [vid. 2019-05-07]. Dostupné z: <http://tzb.fsv.cvut.cz/?mod=podklady&id=3&fbclid=IwAR0sZFv4YrKCsPqd6MgbDWS16E9snf1Vpu8SMLMWaBOp2a7TYNobOnp43SU>
- [19] *Územní teploty* [online]. [vid. 2019-05-08]. Dostupné z: <http://portal.chmi.cz/historicka-data/pocasi/uzemni-teploty>
- [20] *Přehled cen elektrické energie* [online]. [vid. 2019-05-09]. Dostupné z: <https://www.tzb-info.cz/ceny-paliv-a-energie/14-prehled-cen-elektricke-energie#d57>

## Seznam použitých symbolů a zkratk

Symbol	Rozměr	Veličina
$Q_C$	[W]	celková tepelná ztráta objektu
$Q_{pc}$	[W]	celková tepelná ztráta objektu prostupem
$Q_{Vc}$	[W]	celková tepelná ztráta objektu výměnou vzduchu
$Q_{pi}$	[W]	tepelná ztráta prostupem i-té místnosti
$Q_{opi}$	[W]	tepelná ztráta prostupem i-té místnosti bez přírážky
$k_j$	[W.m <sup>-2</sup> .K <sup>-1</sup> ]	součinitel prostupu tepla j-tou stěnou
$S_j$	[m <sup>2</sup> ]	plocha j-té stěny
$t_i$	[°C]	vnitřní výpočtová teplota vzduchu ve vytápěné místnosti
$t_e$	[°C]	vnější (venkovní) výpočtová teplota vzduchu
$p_1$	[-]	přirážka na vyrovnání vlivu chladných konstrukcí
$p_2$	[-]	přirážka na urychlení zátoku
$p_3$	[-]	přirážka za světovou stranu
$Q_{Vi}$	[W]	tepelná ztráta výměnou vzduchu v i-té místnosti
$V_{Vi}$	[m <sup>3</sup> .s <sup>-1</sup> ]	objemová výměna vzduchu i-té místnosti
$V_{infi}$	[m <sup>3</sup> .s <sup>-1</sup> ]	objemová výměna vzduchu i-té místnosti infiltrací
$V_{vi}$	[m <sup>3</sup> .s <sup>-1</sup> ]	objemová výměna vzduchu i-té místnosti větráním
$n$	[h <sup>-1</sup> ]	hygienická či technická intenzita výměny vzduchu
$i_j$	[m <sup>2</sup> .s <sup>-1</sup> .Pa <sup>-0,67</sup> ]	součinitel objemové vzduchové propustnosti j-té výplňové konstrukce
$l_j$	[m]	délka spár j-té výplňové konstrukce
$B$	[-]	charakteristické číslo budovy
$M$	[-]	charakteristické číslo místnosti
$q$	[W.K <sup>-1</sup> ]	měrná tepelná ztráta
$q_c$	[W.K <sup>-1</sup> ]	celková měrná tepelná ztráta objektu
$Q_{rTUV}$	[kWh/rok]	roční potřeba tepla na ohřev TUV
$C_{H_2O}$	[J.kg <sup>-1</sup> .K <sup>-1</sup> ]	měrná tepelná kapacita vody
$\rho_{H_2O}$	[kg.m <sup>-3</sup> ]	hustota vody

$t_{TUV}$	[°C]	teplota TUV
$t_{vin}$	[°C]	průměrná teplota vody v řádu
$n_o$	[-]	počet lidí v domácnosti
$Q_r$	[kWh/rok]	roční potřeba tepla na vyrovnání tepelných ztrát
$Q_{mi}$	[kWh]	teplo na vyrovnání tepelných ztrát i-tého měsíce
$t_{pin}$	[°C]	průměrná teplota v objektu
$t_{pi}$	[°C]	průměrná venkovní teplota i-tého měsíce
$d_i$	[-]	počet dní i-tého měsíce
$Q_{roční}$	[kWh/rok]	celková roční spotřeba energie
$N_{rTČ}$	[Kč/rok]	roční náklady při využití TČ
$N_{rPK}$	[Kč/rok]	roční náklady při využití plynového kotle
$c_{el}$	[Kč/kWh]	cena elektřiny
$c_{plyn}$	[Kč/kWh]	cena plynu
$N_{rU}$	[Kč/rok]	roční úspora
$T_N$	[rok]	doba návratnosti

TČ	tepelné čerpadlo
ČHMÚ	český hydrometeorologický ústav
COP	topný faktor
SCOP	sezónní topný faktor
TEV	termostatický expanzní ventil
RD	rodinný dům
SO	stěna ochlazovaná
OZ	okno zdvojené
SN	stěna neochlazovaná
DN	dveře neochlazované
Str	strop
Pdl	podlaha

## Seznam obrázků

Obr. 1.1 Vývoj instalací TČ v ČR po roce 2000 (upraveno)[4] .....	8
Obr. 1.2 Vývoj instalací po roce 2010 (upraveno)[5].....	8
Obr. 1.3 Schéma TČ [7] .....	9
Obr. 1.4 Cyklus scroll kompresoru[8] .....	11
Obr. 1.5 Spirály scroll kompresoru[9] .....	11
Obr. 1.6 Grafické znázornění bodu bivalence[10] .....	13
Obr. 2.1 Objekt s TČ vzduch-voda v děleném provedení[11].....	14
Obr. 2.2 Objekt s TČ země-voda[13] .....	16
Obr. 2.3 Objekt s TČ země-voda s hlubinnými vrty[13] .....	17
Obr. 2.4 TČ typu voda-voda s využitím povrchové vody[14] .....	18
Obr. 2.5 TČ typu voda-voda s využitím spodní vody (zdrojová a vsakovací studna)[13] .....	19
Obr. 3.1 Fotografie objektu .....	20
Obr. 3.2 Půdorys objektu.....	22
Obr. 3.3 Pracovní výkres místnosti pro vzorový výpočet .....	22
Obr. 3.4 Celková tepelná ztráta objektu .....	27
Obr. 4.1 Celková roční spotřeba tepla .....	30
Obr. 5.1 TČ TČ vzduch-voda Convert AW14.....	31
Obr. 6.1 Grafické znázornění návratnosti.....	34

## **Seznam tabulek**

Tab. 3.1 Tepelné ztráty prostupem výpočtové místnosti.....	24
Tab. 3.2 Tepelné ztráty výměnou vzduchu výpočtové místnosti .....	26
Tab. 3.3 Celkové ztráty objektu.....	27
Tab. 4.1 Teplo potřebné na vyrovnání tepelných ztrát .....	29
Tab. 6.1 Náklady na pořízení TČ .....	32
Tab. 6.2 Cena elektřiny.....	32